

## 発明の名称

光通信システム及び信号チャンネル割当方法

## 発明の背景

5

### 発明の分野

この発明は、光伝送路上の所定位置に配置されかつ所定チャンネルの信号を該光伝送路にアドするノードに対してアドすべき信号チャンネルを割当てていく信号チャンネル割当方法と、それぞれがこの割当方法により割当てられたチャンネルの信号を光伝送路にアドするノードを備えた光通信システムに関するものである。

10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

### 関連する背景技術

互いに波長が異なる信号を伝送する波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光通信システムでは、光伝送路上に設けられたノードにおいて、所定波長（所定チャンネル）の信号がドロップ（そのノードで受信され、下流の光伝送路へは送出されない）されたり、所定チャンネルの信号がアド（そのノードから送出され、下流の光伝送路へは送出されない）される場合がある。ノードから所定チャンネルの信号を光伝送路中にアドする光通信システムとしては、例えば、特開平10-13356号公報、特開平9-172449号公報等の開示されている。

20

### 発明の概要

発明者らは、上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、一般的に光伝送路の分散には波長依存性があり、アドされる信号波長によっては、受信端での累積分散

25

が伝送特性に悪影響を及ぼすレベルに達してしまう場合がある。  
特に、伝送速度の高速化により累積分散の影響の波長間差異（チャネル間差異）はより顕著になる。これを補償するために、アド  
5 された信号に対して個別に分散を補償するための分散補償器が導  
入されると、当該光通信システムの製造コストが増大するとともに  
装置の大型化につながってしまう。

この発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、  
各ノードから光伝送路中にアドされる信号の伝送特性の劣化を抑  
制しつつ製造コストを低く抑えることが可能な構造を備えた光通  
10 信システム及び信号チャネル割当方法を提供することを目的と  
している。

この発明に係る光通信システムは、複数チャネルの信号を伝搬  
させるべく送信端と受信端との間に配置された光伝送路と、それ  
15 ぞれが該光伝送路の所定位置に配置されかつ所定チャネルの信号  
を該光伝送路中にアドする 1 又はそれ以上のノードとを備える。  
また、この発明に係る信号チャネル割当方法は、該 1 又はそれ以  
上のノードにそれぞれ最適な信号チャネルを予めあるいは動的に  
割当ててゐる。具体的にノードそれぞれには、光伝送路中にアドする  
20 ことが可能な信号チャネルのうち、当該ノードから受信端まで  
の累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルが予めある  
いは動的に割当てられる。特に、複数のノードが光伝送路上に配  
置されている場合、予めノードそれぞれについて受信端までの累  
積分散の波長依存性を算出し、該累積分散の絶対値が大きいノー  
ドから順に最適な信号チャネルを予めあるいは動的に割当ててい  
25 くのが好ましい。

以上のように最適信号チャネルが割当てられた、当該光通信シ

システムにおける光伝送路上のノードそれぞれは、該光伝送路中に  
アドすることが可能な信号チャンネルのうち、当該ノードから前  
記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号を光伝送  
路中にアドすることが可能になる。したがって、当該光通信シス  
5 テム及び信号チャンネル割当方法によれば、各ノードでアドされ  
る信号の伝送特性は、他の信号チャンネルが選択された場合と比  
べて優れている。

なお、信号の伝搬経路が固定されている光伝送路では、予め割  
当てられたチャンネルの信号を出力する信号源（光源）をそれぞれ  
10 対応するノードに設けることにより所望の光通信システムが実現  
されるが、信号チャンネルごとに伝搬経路が異なる場合も考えられ  
る。後者の場合、各ノードに波長可変光源、互いに異なる波長を  
出力する複数の光源、あるいは複数チャンネルの信号を1台で同時  
15 に出力する光源を予め用意しておいて、該各ノードそれぞれに、  
最適信号チャンネルを動的に割当てていく必要がある。

このように、各ノードごとに動的に最適信号チャンネルを割当て  
る場合、該各ノードは、光伝送路中にアドすることが可能な信号  
チャンネルをまず特定し、これら特定された信号チャンネルのうち、  
当該ノードから前記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さく  
20 なる信号チャンネルを当該ノードに割当ててノード制御系を備え  
るのが好ましい。

一方、各ノードそれぞれに所定順序で動的に最適信号チャンネル  
が割当てられる場合、当該光通信システムは、各ノードそれぞれにつ  
いて、受信端までの累積分散の波長依存性を算出し、該累積分散  
25 の絶対値が大きいノードから順に最適な信号チャンネルを割当てて  
いく集中制御系を備えるのが好ましい。なお、この集中制御系は、

この発明に係る信号チャネル割当方法として、所定順序で選択されたノードごとに、前記光伝送路中にアドすることが可能な信号チャネルを特定し、これら特定された信号チャネルのうち、該選択されたノードから受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルを該選択されたノードに割当てていく。

また、この発明に係る光通信システムは、光伝送路上の所定位置に設けられた分散補償器を備えてもよい。分散補償器が設けられることで、受信端から比較的遠いノードでアドされる信号は、受信端に到達するまでにパワーがある程度低下してしまうが、該受信端までの累積分散の絶対値が小さいので、十分な受信マージンを確保することができる。逆に、受信端から比較的近いノードでアドされる信号は、受信端に到達した時点でも十分なパワーを有するため、該受信端までの累積分散の絶対値が比較的大きくても、やはり、十分な受信マージンを確保することができる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、この発明に係る光通信システムの第 1 実施形態の構成を示す図である。

図 2 は、この発明に係る信号チャネル割当方法の第 1 実施形態を説明するためのフローチャートである。

図 3 は、第 1 実施形態に係る信号チャネル割当方法を補足説明するためのグラフである。

図 4 A 及び図 4 B は、各ノードの他の構成例を示す図である。

図 5 は、この発明に係る光通信システムの第 2 実施形態の構成を示す図である。

図 6 は、この発明に係る信号チャネル割当方法の第 2 実施形態

を説明するためのフローチャートである。

図 7 は、第 2 実施形態に係る信号チャネル割当方法を補足説明するためのグラフである。

図 8 は、図 6 に示された第 2 実施形態に係る光通信システムの他の構成例を示す図である。

図 9 は、この発明に係る光通信システムの第 3 実施形態の構成を示す図である。

図 10 は、第 3 実施形態に係る光通信システムにおける信号チャネル割当方法を補足説明するためのグラフである。

図 11 は、累積分散の絶対値が小さい場合と大きい場合それぞれについて、ビットエラーレートと必要受信パワーとの関係を示すグラフである。

#### 好適な実施例の詳細説明

以下、この発明に係る光通信システム及び信号チャネル割当方法の各実施形態を、図 1 ～ 3、4 A、4 B、及び 5 ～ 11 を用いて説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

(光通信システム及び信号チャネル割当方法の第 1 実施形態)

図 1 は、この発明に係る光通信システムの第 1 実施形態の構成を示す図であり、この図 1 に示された構成では、信号の伝搬経路が固定されており、光伝送路中に所定チャネルの信号をアドする各ノード A 及び B には予め最適な信号チャネルが割当てられる。

第 1 実施形態に係る光通信システム 1 は、送信器 10 と受信器 20 との間に設けられた光伝送路上にノード A、B が配置されている。ノード A は、A D M (Add Drop Multiplexer) 31 と、該

A D M 3 1 を介して予め割当てられた最適チャネルの信号を光伝送路中に送出するための光源 1 1 を備える。同様に、ノード B は、A D M 3 2 と、該 A D M 3 2 を介して予め割当てられた最適チャネルの信号を光伝送路中に送出するための光源 1 2 を備える。送信器 1 0 と A D M 3 1 との間には光ファイバ 5 1、A D M 3 1 と A D M 3 2 との間には光ファイバ 5 2、A D M 3 2 と受信器 2 0 との間には光ファイバ 5 3 が設けられ、これら光ファイバ 5 1 ~ 5 3 により送信器 1 0 から受信器 2 0 へ到る光伝送路が構成されている。また、光源 1 1 と A D M 3 1 との間には光ファイバ 6 1 が設けられ、光源 1 2 と A D M 3 2 との間に光ファイバ 6 2 が設けられている。

この第 1 実施形態に係る光通信システム 1 では、送信器 1 0 から出力された信号は、光ファイバ 5 1 ~ 5 3 を順に伝搬して受信器 2 0 に到達する。あるいは、送信器 1 0 から出力された信号は、A D M 3 1 あるいは A D M 3 2 によりドロップされ、受信器（図示せず）により受信される場合もある。ノード A では、光源 1 1 から出力された信号が光ファイバ 6 1 を伝搬して A D M 3 1 に到達し、該 A D M 3 1 から光ファイバ 5 2 へアドされる。そして、光源 1 1 からの信号は、光ファイバ 5 2、5 3 を順に伝搬して受信器 2 0 に到達する。一方、ノード B では、光源 1 2 から出力された信号は光ファイバ 6 2 を伝搬して A D M 3 2 に到達し、該 A D M 3 2 から光ファイバ 5 3 へアドされる。そして、光源 1 2 からの信号は光ファイバ 5 3 を伝搬して受信器 2 0 に到達する。

光ファイバ 5 1 ~ 5 3 それぞれは、波長 1 . 3  $\mu$  m 付近に零分散波長を有するシングルモード光ファイバ、このシングルモード光ファイバの波長 1 . 5 5  $\mu$  m 帯の波長分散を補償する分散補償

光ファイバ、波長  $1.55 \mu\text{m}$  付近に零分散波長を有する分散シフト光ファイバ等が適用可能である。送信器 10 や光源 11、12 それぞれは、これら石英系光ファイバが最も低い損失で伝搬させることができる点、及び光増幅器による損失補償が容易である点から、波長  $1.55 \mu\text{m}$  帯の信号を出力するのが好ましい。

なお、図 1 中、点 X は送信器 10 における出力端の位置、点 A は ADM 31 における出力端の位置、点 B は ADM 32 における出力端の位置をそれぞれ示す。また、図 2 及び図 3 は、第 1 実施形態に係る光通信システム 1 における信号チャンネル割当方法

(この発明に係る信号チャンネル割当方法の第 1 実施形態) を説明するためのフローチャート及びグラフである。特に、図 3 に示されたグラフにおいて、信号波長帯域は  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  であり、曲線 G100 は点 X から受信器 20 に至るまでの累積分散の波長依存性、曲線 G110 は点 A から受信器 20 に至るまでの累積分散の波長依存性、曲線 G120 は点 B から受信器 20 に至るまでの累積分散の波長依存性をそれぞれ示している。

図 3 に示されたように、光通信システム 1 では、信号波長帯域 (波長  $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ) において、適切な波長分散特性を有する光ファイバが光伝送路を構成する光ファイバ 51 ~ 53 として適用される。これにより、送信器 10 から受信器 20 に至る光伝送路の累積分散の絶対値が小さくなり、また、該送信器 10 から受信器 20 に至る信号の伝送特性の劣化も効果的に抑制される。しかしながら、光源 11 から ADM 31 を経て受信器 20 に至る光伝送路における累積分散の絶対値は必ずしも小さくなく、光源 12 から ADM 32 を経て受信器 20 に至る光伝送路における累積分散の絶対値も必ずしも小さくない。

そこで、この第 1 実施形態では、光源 1 1 から出力され A D M 3 1 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルがノード A に、そして、光源 1 2 から出力され A D M 3 2 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルがノード B に、図 2 に示されたフローチャートに従って予め割当てられる。

まず、ノード A に対する信号チャンネルの割当てでは、光源 1 1 から出力され A D M 3 1 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルとして、まず A D M 3 1 でアドすることが可能な信号チャンネルが特定される必要がある（ステップ S T 1）。続いて、これら特定された候補について点 A から受信器 2 0 までの累積分散がそれぞれ算出され（ステップ S T 2）、該算出された累積分散の絶対値の最も小さい信号チャンネル（波長  $\lambda_A$ ）が当該ノード A からアドされる信号チャンネルとして選択される（ステップ S T 3）。例えば、図 3 に示されたように、信号波長帯域において、点 A から受信器 2 0 までの累積分散及び分散スロープがともに正であれば、光源 1 1 から出力され A D M 3 1 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネル（波長  $\lambda_A$ ）として、A D M 3 1 でアドすることが可能なチャンネルのうちで最短波長のチャンネルが割当てられる。信号波長帯域の下限波長  $\lambda_1$  の信号が A D M 3 1 を介してアドされることが可能であれば  $\lambda_A = \lambda_1$  である。

同様にして、ノード B に対する信号チャンネルの割当てでも、まず、光源 1 2 から出力され A D M 3 2 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルとして、A D M 3 2 を介してアドすることが可能な信号チャンネルが特定される（ステップ S T）。そして、これら特定された候補について点 B から受信器 2 0 までの累積分散がそれぞれ算出され（ステップ S T 2）、該算出された累積分



散の絶対値の最も小さい信号チャンネル（波長 $\lambda_B$ ）が当該ノード B からアドされる信号チャンネルとして選択される（ステップ S T 3）。例えば図 3 に示されたように、信号波長帯域において、点 B から受信器 20 までの累積分散が負であって分散スロープが正であれば、光源 12 から出力され A D M 3 2 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネル（波長 $\lambda_B$ ）として、A D M 3 2 でアドすることが可能なチャンネルのうち最も長波長の信号チャンネルが割当られる。信号波長帯域の上限波長 $\lambda_2$ の信号を A D M 3 2 でアドすることが可能であれば $\lambda_B = \lambda_2$ である。

以上のような最適信号チャンネルの割当てが全てのノードに対して行われる（ステップ S T 4）。上述の信号チャンネルの割当てでは、光伝送路上の各ノードごとに、光源から出力され A D M から光伝送路へアドされる信号のチャンネルとして、アドすることが可能な信号チャンネルのうち、そのノードから受信器 20 までの累積分散の絶対値が最も小さい信号チャンネルが予め割当てられる。これにより、各ノード A、B における光源 11、12 それぞれから出力され受信器 20 により受信される信号の伝送特性は他の信号チャンネルが選択された場合と比較して優れている。

なお、この第 1 実施形態に関し、上述の信号チャンネル割当てでは、信号の伝搬経路が固定されている場合を想定しているが、信号チャンネルごとに伝搬経路が異なる場合も考えられる。後者の場合、各ノードでは最適信号チャンネルを動的に割当てる必要がある。図 4 A 及び 4 B は、各ノードごとに動的に最適信号チャンネルを割当てるための構造が示されている。なお、これらの図ではノード A の構造のみ示されているが、ノード B も該ノード A と同様の構造を備える。

図 4 A に示されたような第 1 構造では、ノード A は、A D M 3 1 と、互いに異なる波長の信号を出力する複数の光源 1 1 0 と、該 A D M 3 1 と該複数の光源 1 1 0 とを 1 対多接続するための合波器 1 1 1 と、当該ノード A にとって最適な信号チャネルを選択するノード制御系 1 1 2 とを備える。ノード制御系 1 1 2 は、図 2 に示されたように、光ファイバ 5 1 を伝搬して A D M 3 1 に到達した信号から当該ノード A からアド可能な信号チャネルを特定し（ステップ S T 1）、これら特定された信号チャネルについて当該ノード A から受信器 2 0 までの累積分散の絶対値を算出する（ステップ S T 2）。続いて、ノード制御系 1 1 2 は、算出された累積分散の絶対値が最も小さい信号チャネルを選択し（ステップ S T 3）、該選択された信号チャネルに相当する波長の信号を出力する光源を駆動制御する。なお、上述の割当て動作はノード B についても同様である。

一方、図 4 B に示されたような第 2 構成では、ノード A は、A D M 3 1 と、波長可変光源 1 1 3 と、当該ノード A にとって最適な信号チャネルを選択するノード制御系 1 1 2 とを備える。この第 2 構成においてもノード制御部 1 1 2 は上述のような割当て動作を行い、選択された信号チャネルに相当する波長の信号を出力するよう波長可変光源 1 1 3 を制御する（ノード B についても同様）。なお、光源 1 1 3 は、複数チャネルの信号（互いに異なる波長を有する）を 1 台で同時に出力する光源であってもよい。

以上のように、図 4 A 及び 4 B に示されたような構造を備えたノードを光伝送路上の所定位置にそれぞれ配置することにより、各ノードで動的に最適信号チャネルを割当てする光通信システムが実現される。

(光通信システム及び信号チャネル割当方法の第2実施形態)

次に、この発明に係る光通信システム及び信号チャネル割当方法の第2実施形態について説明する。

図5は、この発明に係る光通信システムの第2実施形態の構造を示す図であり、この図5に示された構成でも、信号の伝搬経路が固定されており、光伝送路中に所定チャネルの信号をアドする各ノードA、B及びCには予め最適な信号チャネルが割当てられる。

第2実施形態に係る光通信システム2は、送信器10と受信器20の間に設けられた光伝送路上にノードA、B、Cが配置されている。ノードAは、ADM31と、該ADM31を介して予め割り当てられた最適チャネルの信号を光伝送路中に送出するための光源11を備える。ノードBは、ADM32と、該ADM32を介して予め割り当てられた最適チャネルの信号を光伝送路中に送出するための光源12を備える。また、ノードCは、ADM33と、該ADM33を介して予め割り当てられた最適チャネルの信号を光伝送路中に送出するための光源13を備える。送信器10とADM31との間には光ファイバ51、ADM31とADM32との間には光ファイバ52、ADM32とADM33との間には光ファイバ53、ADM33と受信器20との間には光ファイバ54が設けられ、これら光ファイバ51～54により送信器10から受信器20に至る光伝送路が構成されている。また、光源11とADM31との間には光ファイバ61、光源12とADM32との間には光ファイバ62、光源13とADM33との間には光ファイバ63が設けられている。

この第2実施形態に係る光通信システム2では、送信器10か

ら出力された信号は、光ファイバ5 1～5 4を順に伝搬して受信器2 0に到達する。あるいは、送信器1 0から出力された信号は、A D M 3 1～3 3の何れかによりドロップされ、受信器（図示せず）により受信される場合もある。ノードAでは、光源1 1から出力された信号が光ファイバ6 1を伝搬してA D M 3 1に到達し、該A D M 3 1から光ファイバ5 2へアドされる。そして、光源1 1からの信号は、光ファイバ5 2～5 4を順に伝搬して受信器2 0に到達する。一方、ノードBでは、光源1 2から出力された信号は、光ファイバ6 2を伝搬してA D M 3 2に到達し、該A D M 3 2から光ファイバ5 3へアドされる。そして、光源1 2からの信号は光ファイバ5 3、5 4を順に伝搬して受信器2 0に到達する。さらに、ノードCでは、光源1 3から出力された信号は、光ファイバ6 3を伝搬してA D M 3 3に到達し、該A D M 3 3から光ファイバ5 4へアドされる。そして、光源1 3からの信号は光ファイバ5 4を伝搬して受信器2 0に到達する。

光ファイバ5 1～5 4それぞれは、波長1. 3  $\mu$ m付近に零分散波長を有するシングルモード光ファイバ、このシングルモード光ファイバの波長1. 5 5  $\mu$ m帯の波長分散を補償する分散補償光ファイバ、波長1. 5 5  $\mu$ m付近に零分散波長を有する分散シフト光ファイバ等が適用可能である。送信器1 0や光源1 1～1 3それぞれは、これら石英系の光ファイバが最も低い損失で伝搬させることができる点、及び光増幅器による損失補償が容易である点から、波長1. 5 5  $\mu$ m帯の信号を出力するのが好ましい。

なお、図5中、点AはA D M 3 1における出力端の位置、点BはA D M 3 2における出力端の位置、点CはA D M 3 3における出力端の位置をそれぞれ示す。また、図6及び図7は、第2実施

形態に係る光通信システム 2 における信号チャンネル割当方法

(この発明に係る信号チャンネル割当方法の第 2 実施形態) を説明するためのフローチャート及びグラフである。特に、図 7 に示されたグラフにおいて、使用され得る信号チャンネルの波長帯域

(波長  $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ) であり、曲線 G 2 1 0 は点 A から受信器 2 0 に至るまでの累積分散の波長依存性、点、曲線 G 2 2 0 は点 B から受信器 2 0 に至るまでの累積分散の波長依存性、曲線 G 2 3 0 は点 C から受信器 2 0 に至るまでの累積分散の波長依存性をそれぞれ示している。

図 7 に示されたように、光通信システム 2 では、信号波長帯域 (波長  $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ) において、適切な波長分散特性を有する光ファイバが送信器 1 0 から受信器 2 0 までの光伝送路を構成する光ファイバ 5 1 ~ 5 4 として適用される。これにより、送信器 1 0 から受信器 2 0 に至る累積分散の絶対値は小さくなり、また、該送信器 1 0 から受信器 2 0 に至る信号の伝送特性の劣化も効果的に抑制される。しかしながら、光源 1 1 から ADM 3 1 を経て受信器 2 0 に至る光伝送路における累積分散の絶対値は必ずしも小さくなく、光源 1 2 から ADM 3 2 を経て受信器 2 0 に至る光伝送路における累積分散の絶対値も必ずしも小さくなく、また、光源 1 3 から ADM 3 3 を経て受信器 2 0 に至る光伝送路における累積分散の絶対値も必ずしも小さくない。

そこで、この第 2 実施形態では、光源 1 1 から出力され ADM 3 1 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルがノード A に、光源 1 2 から出力され ADM 3 2 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルがノード B に、そして、光源 1 3 から出力され ADM 3 3 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネル

がノード C に、図 6 に示されたフローチャートに従って予め割り当てられる。

まず、ノード A ～ C に対する信号チャネルの割当てに先だって、点 A、点 B 及び点 C それぞれから受信器 20 までの累積分散の波長依存性が算出される（ステップ S T 5、S T 6）。この算出された累積分散の波長依存性に基づいて、受信器 20 までの累積分散の絶対値が最も大きいノードから順に、信号チャネルの割当てが行われる（ステップ S T 7）。

以下の説明では、図 7 に示されたように、信号波長帯域において、点 A、点 B 及び点 C それぞれから受信器 20 までの累積分散及び分散スロープがともに正であって、点 A から受信器 20 までの累積分散の絶対値が最も大きく、点 B から受信器 20 までの累積分散の絶対値、点 C から受信器 20 までの累積分散の絶対値の順で小さくなっているものとする。この場合、ノード A、ノード B、ノード C の順で信号チャネルの割当てが行われる。

ノード A に対する信号チャネルの割当てでは、光源 11 から出力され ADM 31 を介して光伝送路へアドされる信号のチャネルとして、まず ADM 31 でアドすることが可能な信号チャネルが特定される（ステップ S T 8）。続いて、これら特定された候補から、点 A から受信器 20 までの累積分散の絶対値が最も小さい信号チャネル（波長  $\lambda_A$ ）が当該ノード A からアドされる信号チャネルとして選択される（ステップ S T 9）。例えば図 7 に示されたように、信号波長帯域において、点 A から受信器 20 までの累積分散及び分散スロープがともに正であれば、光源 11 から出力され ADM 31 を介して光伝送路へアドされる信号のチャネル（波長  $\lambda_A$ ）として、ADM 31 でアドすることが可能な

チャンネルのうちで最も短波長のチャンネルが割当てられる。信号波長帯域の下限波長 $\lambda_1$ の信号がADM31を介してアドされることが可能であれば $\lambda_A = \lambda_1$ である。

次いで、ノードBに対する信号チャンネルの割当てでは、光源12から出力されADM32を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルとして、ADM32を介してアドすることが可能なチャンネルが特定される（ステップST8）。そして、これら特定された候補から、点Bから受信器20までの累積分散の絶対値が最も小さいチャンネル（波長 $\lambda_B$ ）が当該ノードBからアドされる信号チャンネルとして選択される（ステップST9）。なお、波長 $\lambda_A$ は、点Aでアドされる信号チャンネルとして既にノードAに割当てられているので、点Bでアドされる信号チャンネルとして当該ノードBに割当てすることはできない。

最後に、ノードCに対する信号チャンネルの割当てにおいても、光源13から出力されADM33を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルとして、ADM33でアドすることが可能なチャンネルまず特定される（ステップST8）。そして、点C点から受信器20までの累積分散の絶対値が最も小さいチャンネル

（波長 $\lambda_C$ ）が当該ノードCからアドされる信号チャンネルとして選択される（ステップST9）。なお、このノードCに対する信号チャンネルの割当てにおいても、波長 $\lambda_A$ 及び $\lambda_B$ は、いずれも、点A、点Bでアドされる信号チャンネルとして既にノードA、ノードBに割当てられているので、点Cでアドされる信号チャンネルとしてノードCに割当てることができない。

以上のような最適信号チャンネルの割当てが全てのノードに対して行われる（ステップST10）。上述の信号チャンネルの割当て

では、光伝送路上の各ノードから受信器 20 までの累積分散の波長依存性を予め算出しておき、この累積分散の波長依存性に基づいて、受信器 20 までの累積分散の絶対値が最も大きいノードから順に最適信号チャネルの割当てが行われる。これにより、各ノード A ~ C における光源 11 ~ 13 それぞれから出力され受信器 20 に到達する信号の伝送特性は、他の信号チャネルの組み合わせが選択された場合と比較して優れている。

なお、この第 2 実施形態に関し、上述の信号チャネル割当てでは、信号の伝搬経路が固定されている場合を想定しているが、信号チャネルごとに伝搬経路が異なる場合も考えられる。後者の場合、各ノードでは最適信号チャネルを動的に割当てての必要があり、上述の第 1 実施形態と同様に、ノード A ~ C それぞれの構造を図 4 A 及び 4 B に示された構造とすることにより、最適信号チャネルの動的割当てが各ノードごとに行える。また、この第 2 実施形態における信号チャネルの動的割当ては、集中して行うことも可能である。図 8 は、第 2 実施形態に係る光通信システム 2 において、各ノードへの最適信号チャネルの動的割当てを集中して行うための構成を示す図である。

図 8 に示された光通信システム 2 において、ノード A は、図 4 B に示されたように ADM 31 と波長可変光源 113 (図 4 A に示されたように、互いに異なる波長の信号を出力する複数の光源を備えてもよい) を備える。ノード B は、図 4 B に示されたように ADM 32 と波長可変光源 114 (図 4 A に示されたように、互いに異なる波長の信号を出力する複数の光源を備えてもよい) を備える。さらに、ノード C は、図 4 B に示されたように ADM 33 と波長可変光源 115 (図 4 A に示されたように、互いに異



なる波長の信号を出力する複数の光源を備えてもよい）を備える。  
そして、当該光通信システム 2 は、これらノード A ～ C への最適  
信号チャネルを動的に割当てするための集中制御系 1 1 6 を備える。  
この集中制御系 1 1 6 も、図 7 に示されたように、ノード A ～ C  
5 について信号チャネルの割当て順序を決定し（ステップ S T 5 ～  
S T 7）、決定された順序で各ノードへの最適信号チャネルの割  
当てを行っていく（ステップ S T 8 ～ S T 1 0）。

（光通信システムの第 3 実施形態）

次に、この発明に係る光通信システム第 3 実施形態について説  
明する。図 9 はこの発明に係る光通信システムの第 3 実施形態の  
構成を示す図である。なお、この第 3 実施形態に係る光通信シス  
テム 3 では、上述の第 1 及び第 2 実施形態に係る信号チャネル割  
10 当方法のいずれも実施してもよい。

第 3 実施形態に係る光通信システム 3 は、送信器 1 0 と受信器  
2 0 との間に設けられた光伝送路上にノード A、ノード B 及び分  
散補償器 4 0 が配置されている。ノード A は、A D M 3 1 と、該  
A D M 3 1 を介して予め割当てられた最適チャネルの信号を光伝  
15 送路中に送出するための光源 1 1 を備える。同様に、ノード B は、  
A D M 3 2 と、該 A D M 3 2 を介して予め割当てられた最適チャ  
ネルの信号を光伝送路に送出する光源 1 2 を備える。送信器 1 0  
と A D M 3 1 との間には光ファイバ 5 1、A D M 3 1 と A D M 3  
2 との間には光ファイバ 5 2、A D M 3 2 と受信器 2 0 との間  
20 には光ファイバ 5 3 及び分散補償器 4 0 がそれぞれ設けられ、これ  
ら光ファイバ 5 1 ～ 5 3 により送信器 1 0 から受信器 2 0 へ至る  
光伝送路が構成されている。また、光源 1 1 と A D M 3 1 との間  
25 には光ファイバ 6 1、光源 1 2 と A D M 3 2 との間には光ファイ

バ 6 2 が設けられている。

この第 3 実施形態に係る光通信システム 3 では、送信器 1 0 から出力された信号は、光ファイバ 5 1 ~ 5 3 及び分散補償器 4 0 を順に伝搬して受信器 2 0 に到達する。あるいは、送信器 1 0 から出力された信号は、A D M 3 1 あるいは A D M 3 2 によりドロップされ、受信器（図示せず）により受信される場合もある。ノード A では、光源 1 1 から出力された信号は、光ファイバ 6 1 を伝搬して A D M 3 1 に到達し、該 A D M 3 1 から光ファイバ 5 2 へアドされる。そして、光源 1 1 からの信号は、光ファイバ 5 2 、5 3 、分散補償器 4 0 を順に伝搬して受信器 2 0 に到達する。一方、ノード B では、光源 1 2 から出力された信号は、光ファイバ 6 2 を伝搬して A D M 3 2 に到達し、該 A D M 3 2 から光ファイバ 5 3 へアドされる。そして、光源 1 2 からの信号は光ファイバ 5 3 、分散補償器 4 0 を順に伝搬して受信器 2 0 に到達する。

光ファイバ 5 1 ~ 5 3 それぞれは、波長 1 . 3  $\mu$  m 付近に零分散波長を有するシングルモード光ファイバ、このシングルモード光ファイバの波長 1 . 5 5  $\mu$  m 帯の波長分散を補償する分散補償光ファイバ、波長 1 . 5 5  $\mu$  m 付近に零分散波長を有する分散シフト光ファイバ等が適用可能である。送信器 1 0 おおしい光源 1 1 、1 2 それぞれは、これら石英系の光ファイバが最も低い損失で伝搬させることができる点、及び光増幅器による損失補償が容易である点から、波長 1 . 5 5  $\mu$  m 帯の信号を出力するのが好ましい。

なお、図 9 中、点 X は送信器 1 0 における出力端の位置、点 A は A D M 3 1 における出力端の位置、点 B は A D M 3 2 における出力端の位置をそれぞれ示す。また、図 1 0 は、この第 3 実施形態に係る光通信システム 3 における信号チャンネル割当方法の補

足説明するための図である。図 1 0 のグラフにおいて、使用され得る信号チャンネルの波長帯域は $\lambda_1 \sim \lambda_2$ であり、グラフ G 3 0 は点 X から受信器 2 0 までの累積分散の波長依存性、グラフ G 3 1 0 は点 A から受信器 2 0 までの累積分散の波長依存性、グラフ G 3 2 0 は点 B から受信器 2 0 までの累積分散の波長依存性をそれぞれ示している。

図 1 0 に示されたように、光通信システム 3 では、信号波長帯域（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ）において、適切な波長分散特性を有する光ファイバが光伝送路を構成する光ファイバ 5 1 ~ 5 3 及び分散補償器 4 0 として適用される。これにより、送信器 1 0 から受信器 2 0 に至る光伝送路における累積分散の絶対値が小さくなり、また、送信器 1 0 から受信器 2 0 に至る信号光の伝送特性も効果的に劣化を抑制される。しかしながら、光源 1 1 から A D M 3 1 を経て受信器 2 0 に至る光伝送路における累積分散の絶対値は必ずしも小さくなく、光源 1 2 から A D M 3 2 を経て受信器 2 0 に至る光伝送路における累積分散の絶対値も必ずしも小さくない。

そこで、この第 3 実施形態では、光源 1 1 から出力され A D M 3 1 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルをノード A に、及び光源 1 2 から出力され A D M 3 2 を介して光伝送路へアドされる信号のチャンネルをノード B に、以下のように割当てて。なお、以下の説明では上述の第 2 実施形態に係る信号チャンネル割当方法（図 6）に従って、各ノード A、B に予め最適信号チャンネルを割当てて動作を示す。

すなわち、ノード A、B に対する信号チャンネルの割当てに先だって、点 A、点 B それぞれから受信器 2 0 までの累積分散の波長依存性が算出される（ステップ S T 5、S T 6）。この算出され

た累積分散の波長依存性に基づいて、受信器 20 までの累積分散の絶対値が最も大きいノードから順に、信号チャネルの割当てが行われる（ステップ S T 7）。以下の説明では、図 10 に示されたように、信号波長帯域において、点 A 及び点 B それぞれから受信器 20 までの累積分散及び分散スロープがともに負であって、点 A から受信器 20 までの累積分散の絶対値の方が、点 B から受信器 20 までの累積分散の絶対値よりも小さくなっているものとする。この場合、ノード B、ノード A の順で信号チャネルの割当てが行われる。

まずノード B に対する信号チャネルの割当てでは、光源 12 から出力され ADM 32 を介して光伝送路へアドされる信号のチャネルとして、まず ADM 32 でアドすることが可能な信号チャネルが特定される（ステップ S T 8）。続いて、これら特定された候補から、点 B から受信器 20 までの累積分散がの絶対値が最も小さい信号チャネル（波長  $\lambda_B$ ）が当該ノード B からアドされる信号チャネルとして選択される（ステップ S T 9）。例えば図 10 に示されたように、信号波長帯域において、点 B から受信器 20 までの累積分散及び分散スロープがともに負であれば、光源 12 から出力され ADM 32 を介して光伝送路へアドされる信号のチャネル（波長  $\lambda_B$ ）として、ADM 32 でアドすることが可能なチャネルのうちで最も短波長のチャネルが割当てられる。信号波長帯域の下限波長  $\lambda_1$  の信号が ADM 32 を介してアドされることが可能であれば  $\lambda_B = \lambda_1$  である。

次いで、ノード A に対する信号チャネルの割当てでは、光源 11 から出力され ADM 31 を介して光伝送路へアドされる信号のチャネルとして、ADM 31 を介してアドすることが可能なチ

チャンネルが特定される（ステップ S T 8）。そして、これら特定された候補から、点 A から受信器 2 0 までの累積分散の絶対値が最も小さいチャンネル（波長  $\lambda_A$ ）が当該ノード A からアドされる信号チャンネルとして選択される（ステップ S T 9）。なお、波長  $\lambda_B$  は、点 B でアドされる信号チャンネルとして既にノード B に割当てられているので、点 A でアドされる信号チャンネルとして当該ノード A に割当てすることはできない。

以上のような最適信号チャンネルの割当てが全てのノードに対して行われる（ステップ S T 1 0）。上述の信号チャンネルの割当てでは、光伝送路上の各ノードから受信器 2 0 までの累積分散の波長依存性を予め算出しておき、この累積分散の波長依存性に基づいて、受信器 2 0 までの累積分散の絶対値が最も大きいノードから順に最適信号チャンネルの割当てが行われる。これにより、各ノード A、B における光源 1 1、1 2 それぞれから出力され受信器 2 0 に到達する信号の伝送特性は、他の信号チャンネルの組み合わせが選択された場合と比較して優れている。

特に、この第 3 実施形態では、分散補償器 4 0 が点 B と受信器 2 0 との間に設けられているので、送信器 1 0（点 X）から受信器 2 0 までの累積分散の絶対値を小さくするだけでなく、光源 1 1（点 A）から受信器 2 0 までの累積分散の絶対値をも小さくしている。図 1 1 は、累積分散の絶対値が小さい場合（曲線 G 4 0 0 で示される）及び大きい場合（曲線 G 4 1 0 で示される）それぞれについて、ビットエラーレート（B E R）と必要受信パワーとの関係を示すグラフである。このグラフに示されたように、受信器 2 0 から比較的遠いノードでアドされる信号は受信器 2 0 までの累積分散の絶対値が小さいので、光伝送路を伝搬する際にあ

る程度損失が増加し、受信器20における受信信号パワーが小さくなったとしても、受信マージンが十分確保される。一方、受信器20から比較的近いノードでアドされる信号光は、受信器20における受信信号パワーが十分大きいので、受信器20までの累積分散の絶対値が大きくても、やはり、受信マージンが十分確保される。

なお、上述の信号チャネル割当方法は、信号の伝搬経路が固定された場合であって、各ノードに最適信号チャネルを予め割当てた場合について説明したが、この第3実施形態においても各ノードに対して最適信号チャネルを動的に割当ててもよい。後者の場合、各ノードは、図4A及び図4Bに示されたように、各ノードに設けられたノード制御系により個別に最適信号チャネルを割当てるようにすることも、また、図8に示されたように、集中制御系により、各ノードに最適信号チャネルを割当てるようにすることも可能である。

以上のようにこの発明によれば、ノードごとにアドすることが可能な信号チャネルのうち受信端までの累積分散の絶対値が最も小さい信号チャネルが割当てられるので、アドされた信号の伝送特性を、他のチャネルを選択した場合と比較して効果的に改善することが可能となる。

クレーム：

1. 複数チャネルの信号を伝搬させるべく送信端と受信端との間に配置された光伝送路と、それぞれが該光伝送路の所定位置に配置されかつ所定チャネルの信号を該光伝送路中にアドする 1 又はそれ以上のノードとを備えた光通信システムであって、

前記ノードそれぞれは、前記光伝送路中にアドすることが可能な信号チャネルのうち、当該ノードから予め求められた前記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルの信号を前記光伝送路中にアドすることを特徴とする光通信システム。

2. クレーム 1 の光通信システムにおいて、

前記ノードそれぞれは、前記光伝送路中にアドすることが可能な信号チャネルを特定し、これら特定された信号チャネルのうち、当該ノードから前記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルを当該ノードに割当ててノード制御系を備える。

3. クレーム 1 の光通信システムは、さらに、

前記ノードそれぞれについて、前記受信端までの累積分散の波長依存性を算出し、該累積分散の絶対値が大きいノードから順に最適な信号チャネルを割当てていく集中制御系を備え、

この集中制御系は、割当対象として選択されたノードごとに、前記光伝送路中にアドすることが可能な信号チャネルを特定し、これら特定された信号チャネルのうち、該選択されたノードから前記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルを該選択されたノードに割当てていく。

4. クレーム 1 の光通信システムは、さらに、

前記光伝送路上の所定に配置された分散補償器を備える。

5. 複数チャネルの信号を伝搬させるべく送信端と受信端との間に配置された光伝送路と、それぞれが該光伝送路の所定位置に配置されかつ所定チャネルの信号を該光伝送路中にアドする 1 又はそれ以上のノードとを備えた光通信システムにおいて、該ノードそれぞれに該光伝送路中にアドすべき所定の信号チャネルを割当てて信号チャネル割当方法であって、

前記ノードそれぞれに、前記光伝送路中にアドすることが可能な信号チャネルのうち、当該ノードから予め求められた前記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルを割当ててことを特徴とする信号チャネルの割当方法。

6. クレーム 5 の信号チャネル割当方法において、

前記ノードそれぞれについて、前記受信端までの累積分散の波長依存性を算出して該累積分散の絶対値が大きいノードから順に割当対象として選択し、

前記割当対象として選択されたノードごとに、前記光伝送路中にアドすることが可能な信号チャネルを特定し、これら特定された信号チャネルのうち、該選択されたノードから前記受信端までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャネルを該選択されたノードに割当てていく。



開示内容の要約

この発明は、光伝送路中に配置された各ノードでアドされる信号の伝送特性の劣化を抑制する構造を備えた光通信システム及び信号チャンネル割当方法に関する。当該光通信システムは、送信器と受信器との間に複数チャンネルの信号を伝送するための光伝送路を備え、該光伝送路の所定位置には1又はそれ以上のノードが配置されている。各ノードは、光伝送路中に所定チャンネルの信号をアドするADMを備えており、該各ノードにはアド可能な信号チャンネルのうち受信器までの累積分散の絶対値が最も小さくなる信号チャンネルが予めあるいは動的に割当てられる。